

# Stromspeicher in Langfristszenarien bis 2050

Wieviel? Welche? Wo? Unsicherheiten?

## 3. Doktorandenseminar „Modellgestützte Systemanalyse“

Stuttgart, 12. Oktober 2015

Dipl. Wi.-Ing. Felix Cebulla

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Institut für Technische Thermodynamik

Systemanalyse und Technik Bewertung



Wissen für Morgen



# Agenda

- I. Motivation und Ziel
  - a. Forschungsfrage
- II. Methodik
  - a. Energiesystemmodell ReMix
  - b. Szenario- und Modellannahmen
  - c. Sensitivitäten
- III. Ergebnisse
  - a. Referenzszenario 2050
  - b. Sensitivitäten
- IV. Konklusion und Ausblick



# Forschungsfrage

## Speicherbedarf in Langfristszenarien

- Untersuchungen zum zukünftigen Stromspeicherbedarf weisen große Bandbreiten auf (Lade-/Entladeleistung, Speicherkapazität)
    - Beispiel Deutschland (100% EE-Anteil)<sup>1</sup>: 20-94GW, 15-140TWh
    - Beispiel Europa (100% EE-Anteil)<sup>1</sup>: 500-900GW, **XY TWH**
  - Transparenz und Reproduzierbarkeit der Methodik, Modelle und Daten oft schwierig
  - Unterschiede im technischen, räumlichen und zeitlichen Detailierungsgrad
- ➔ Vergleichbarkeit der Ergebnisse zum Speicherbedarf daher nur eingeschränkt möglich und innerhalb des jeweiligen Annahmenkonstruktes belastbar



# Forschungsfrage

## Speicherbedarf in Langfristszenarien

Welchen Einfluss haben...

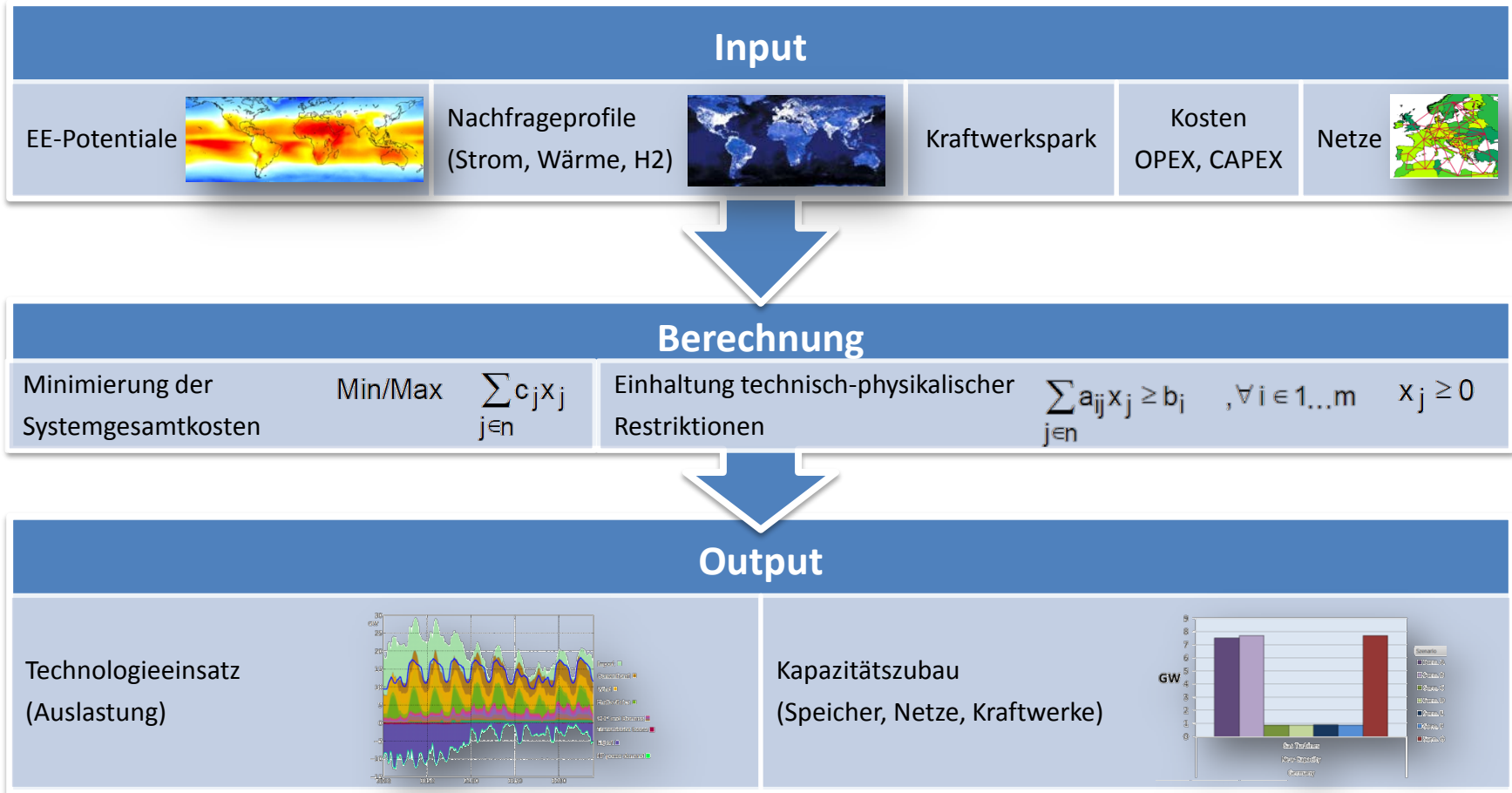
- a) Brennstoff- u. Emissionskosten
- b) Netzszenarien/-ausbau
- c) Zugelassene Abregelung der fluktuierenden Erneuerbaren
- d) Zubaupotenziale (kein Fokus)
- e) Kostenannahmen Investitionen (Speicher, fluk. EEs)
- f) (Wetterjahr)
- g) (Szenario vs. „Grüne Wiese“-Optimierung)

... auf den Zubau an Konverterleistung und Speicherkapazität in Europa bis 2050?



# Modell

## Renewable Energy Mix for Sustainable Energy Supply (REMix)



# Annahmen

## Modell & Szenarien

### Modell

- Stündliche Auflösung über das Stützjahr 2050
- Nur Stromsektor
- Skalierte, knotenscharfe Lastprofile
- 9 europäische und 20 deutsche Modellknoten (innerhalb der Regionen unbegrenzter Transport)
- Modellendogener Zubau aller Erzeugungskapazitäten (EE, Konv.), Netze und Speicher („Grüne Wiese“)
- Modellinterne Vorgabe: Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien mindestens 80% bemessen am Bruttostrombedarf über das gesamte europäische Betrachtungsgebiet
- 6 Speichertechnologien: CAES, Li-Ionen, PHS, H<sub>2</sub>, Redox-Flow, Blei-Säure

### Szenarien

- Annahmen zu Investitionskosten für Speicher (Konverter- und Speichereinheit), erneuerbare Technologien und des Netzes (Drehstrom mittels DC-Approximation, HVDC-Übertragungsleitungen)
- Unterschiedliche Preispfade für Brennstoffe und CO<sub>2</sub>-Zertifikate
- Szenarien zur zugelassenen, technologiespezifischen Abregelung über das gesamte Betrachtungsgebiet
- Wetterjahr





# Annahmen

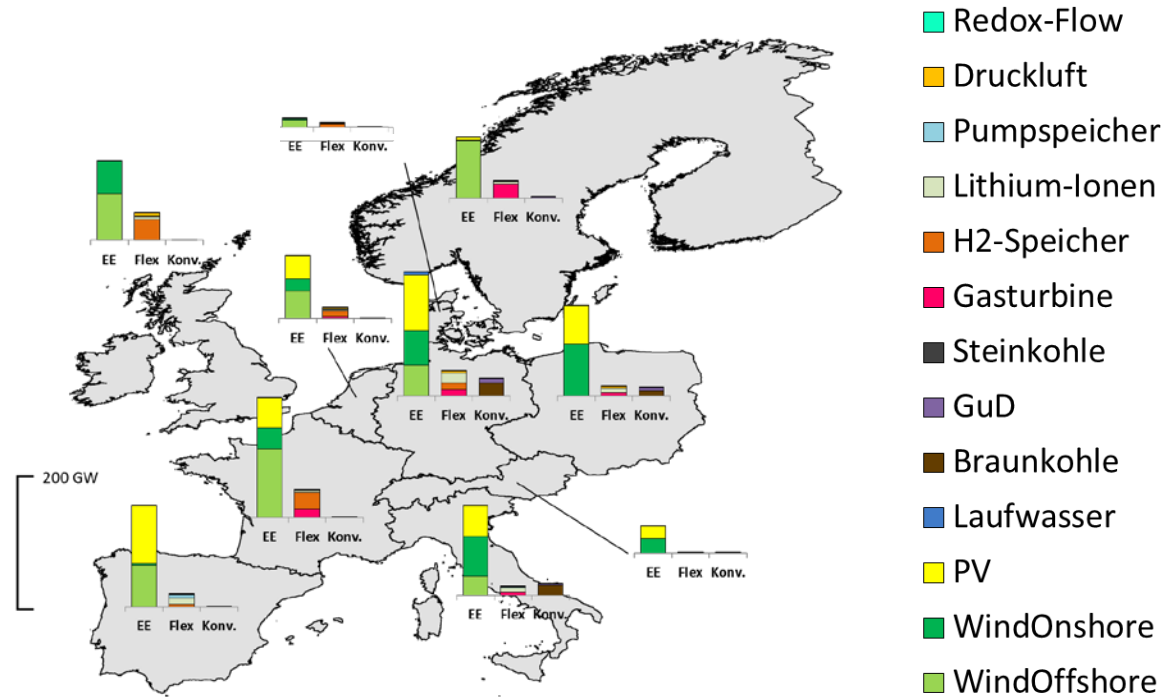
## Sensitivitätsfälle

Nr.	Szenario	Netz	Abregelung	Invest Speicher	Invest EE	BS-Kosten	CO2-Preisfad	Wetterjahr
1	Referenz	G+	100%	Med	Med	Med	Med	2006
2	Beschränktes Netz	G-	100%	Med	Med	Med	Med	2006
3	Optimiertes Netz	G++	100%	Med	Med	Med	Med	2006
4	Abregelung begrenzt 10%	G+	10%	Med	Med	Med	Med	2006
5	Abregelung begrenzt 3%	G+	3%	Med	Med	Med	Med	2006
6	Niedriger Speicherinvest	G+	100%	Low	Med	Med	Med	2006
7	Hoher Speicherinvest	G+	100%	High	Med	Med	Med	2006
8	Niedriger RE-Invest	G+	100%	Med	Low	Med	Med	2006
9	Hoher RE-Invest	G+	100%	Med	High	Med	Med	2006
10	Hohe BS-Kosten	G+	100%	Med	Med	High	Low	2006
11	Hohe CO2-Kosten	G+	100%	Med	Med	Low	High	2006
12	Wetterjahr	G+	100%	Med	Med	Med	Med	2007
13	Wetterjahr	G+	100%	Med	Med	Med	Med	2008
14	Wetterjahr	G+	100%	Med	Med	Med	Med	2009
15	Wetterjahr	G+	100%	Med	Med	Med	Med	2010
16	Wetterjahr	G+	100%	Med	Med	Med	Med	2011



# Referenzszenario 2050

## Zubau der Kapazitäten



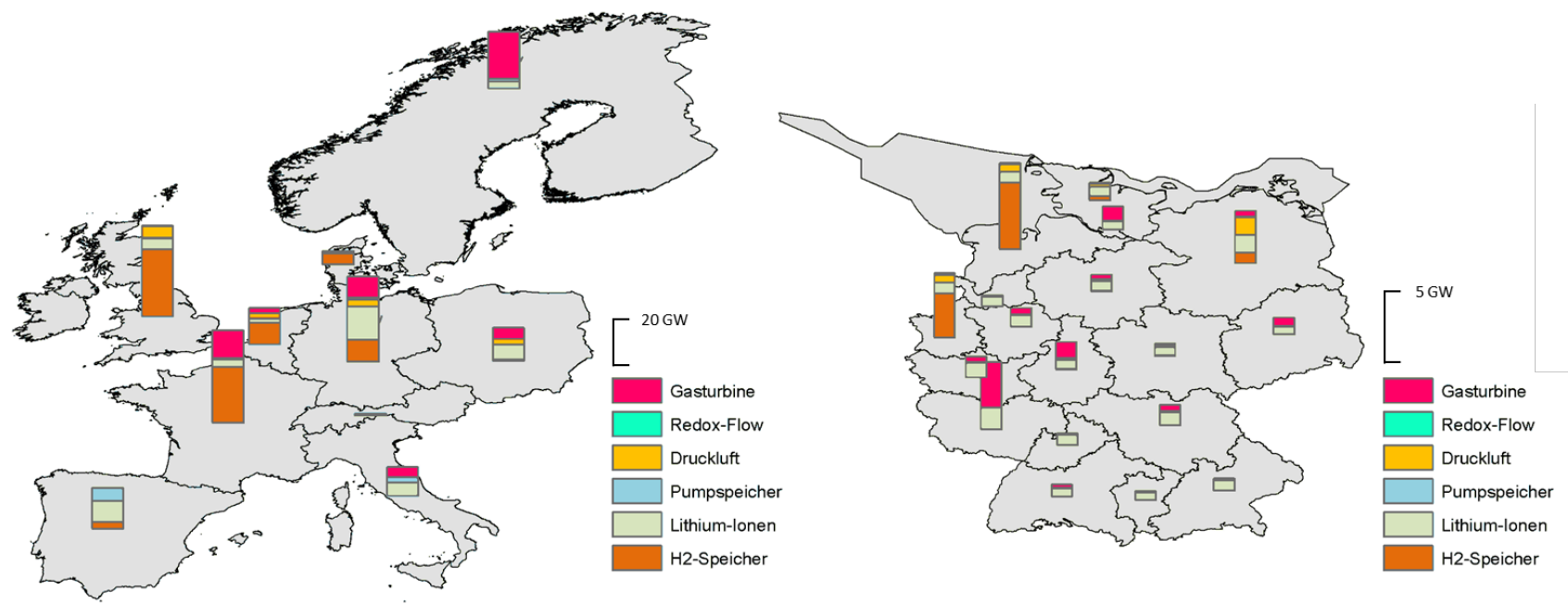
[GW] (VLS/a)	WindOff	WindOn	PV	Braunkohle	Gasturbine	GuD
Deutschland	48 (3600)	55 (2200)	87 (1000)	20 (4600)	10 (400)	7 (2100)
Europa	464 (3100)	328 (2200)	392 (1000)	45 (3800)	58 (500)	16 (1900)





# Referenzszenario 2050

## Zubau Speicherleistung und Gasturbinen



[GW]	H <sub>2</sub>	Gasturbine	Lithium-Ionen	Druckluft	Pumpspeicher	Redox-Flow	Summe
Deutschland	10	10	16	3	-	1	<b>40</b>
Europa	86	58	54	14	11	1	<b>224</b>

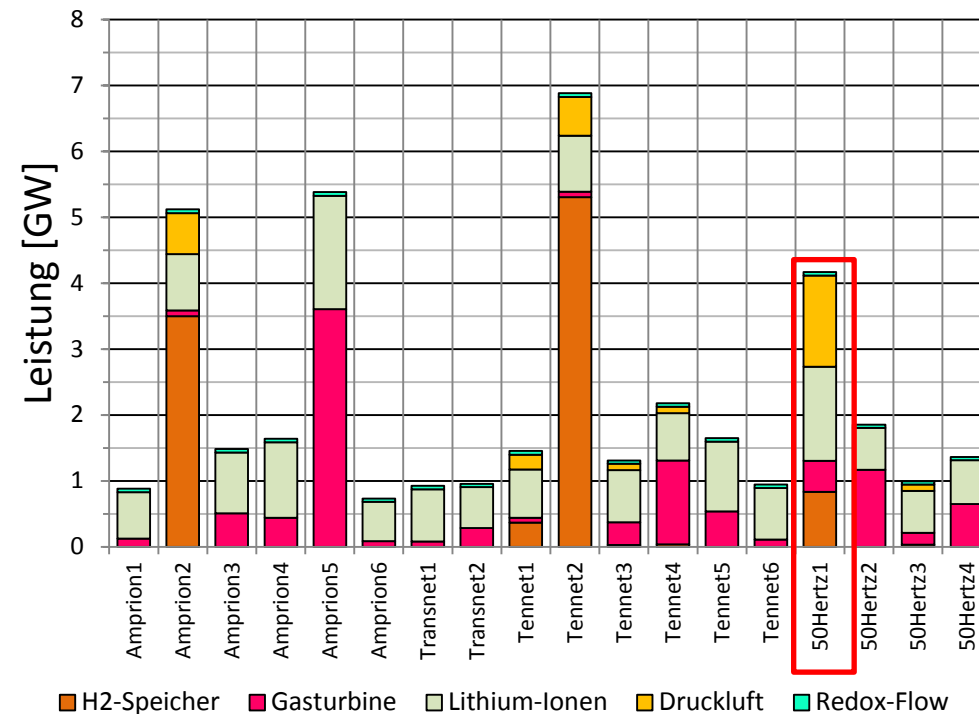


# Referenzszenario 2050

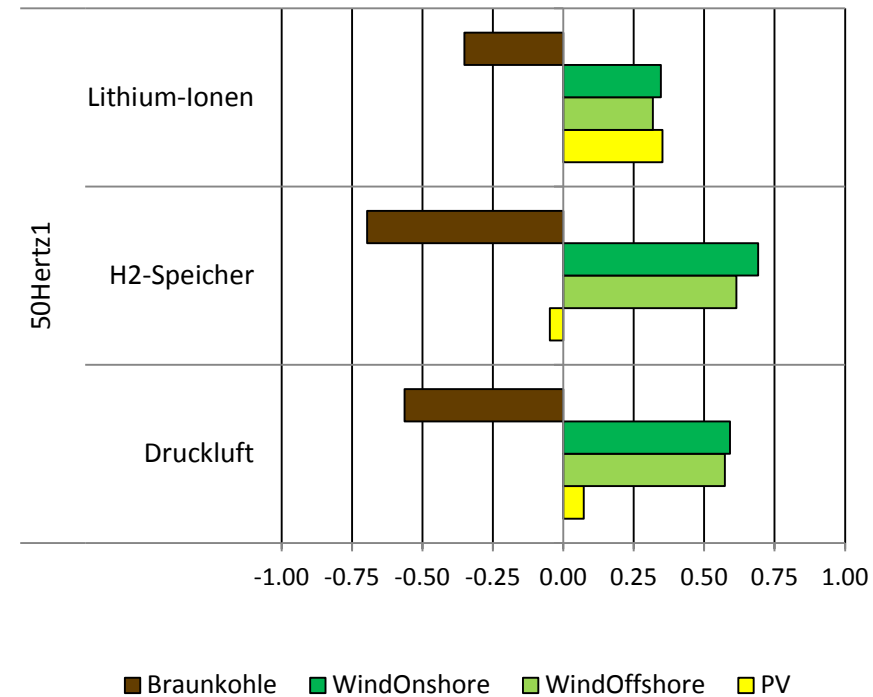
## Speicherzubau/nutzung in 50Hertz1



Zubau Konverter [GW]



Korrelation Speicherbeladung u. Erzeugung



- Speicherbeladung korreliert mit der in der Region vorherrschenden erneuerbaren Ressource und antikorreliert mit konventioneller Erzeugung (bspw. Braunkohle)
- Energie-zu-Leistungsverhältnis (E2P): Li-Ion=3h, Druckluft=18h, H2=180h



# Referenzszenario 2050

## Speicherzubau/nutzung in 50Hertz1

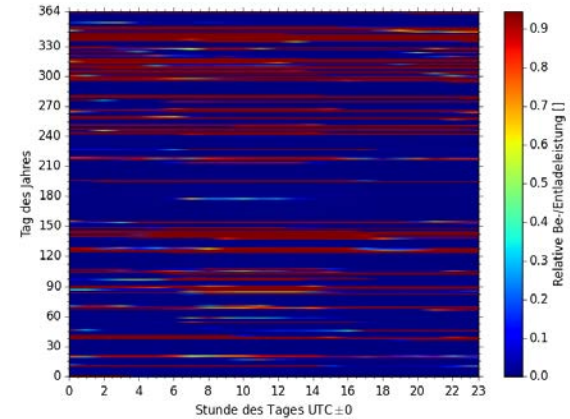
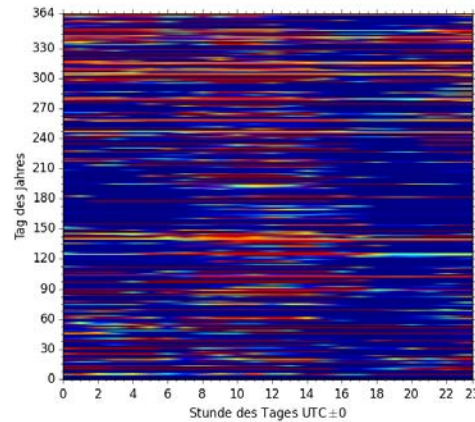
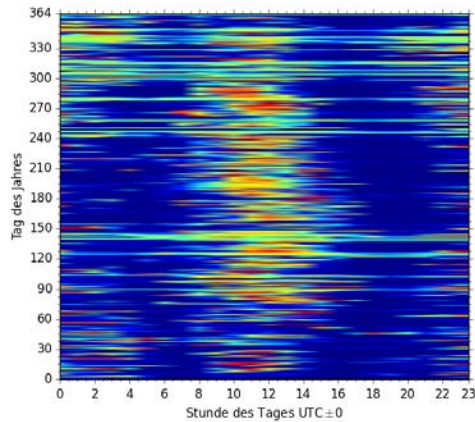


Li-Ionen

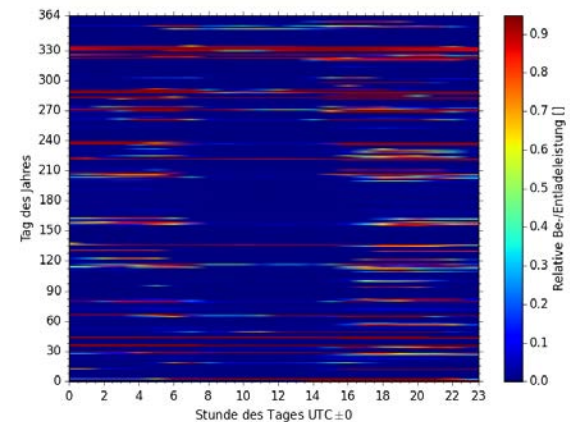
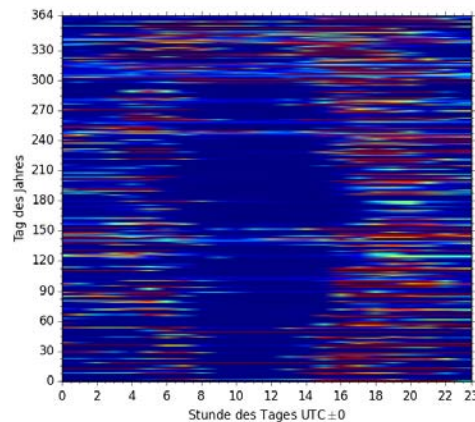
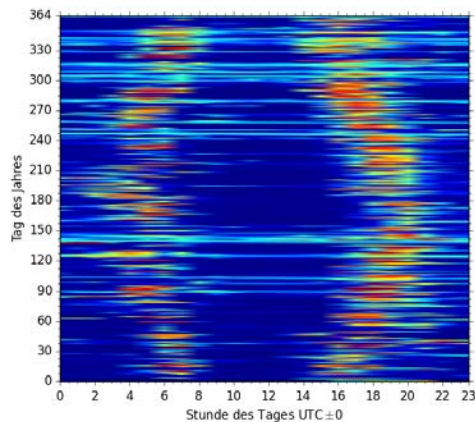
Druckluft

H<sub>2</sub>-Speicher

Beladen



Entladen





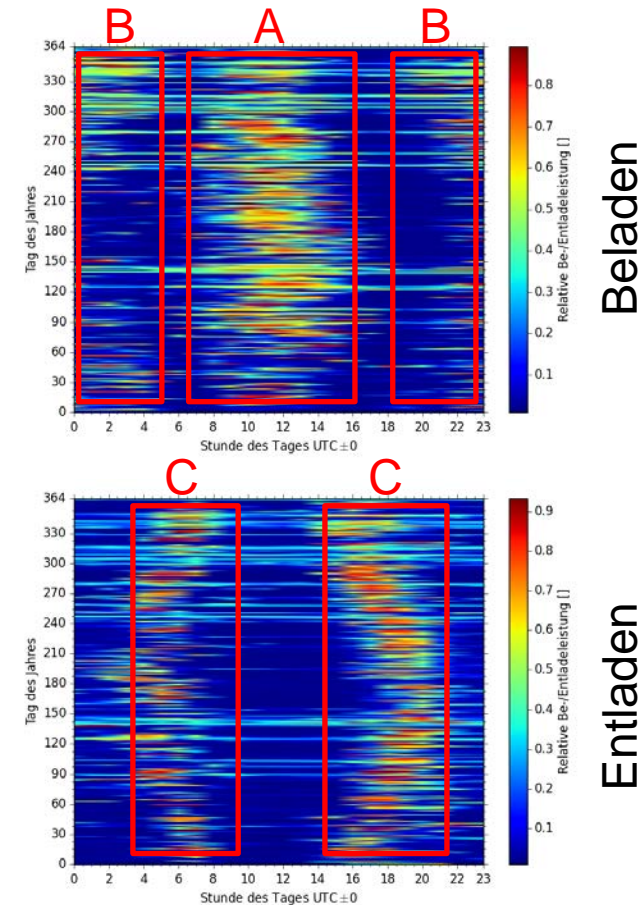
# Referenzszenario 2050

## Speicherzubau/nutzung in 50Hertz1



- A: Speicherbeladung beinahe täglich und im Tagesverlauf vor allem im Zeitraum zwischen 10-14Uhr, also den Stunden der höchsten PV-Einspeisung
- A: Im saisonalen Verlauf ist trotz der verstärkten PV-Einspeisung in den Sommermonaten keine signifikante Ausweitung dieses Zeitfensters zu beobachten
- A: Jedoch Intensivierung der Ladeleistung durch erhöhte solaren Einstrahlung
- B: weniger intensive Ladevorgänge von 0-4Uhr & 18-0Uhr, etwas ausgeprägter in den Herbst- und Wintermonaten → Ausgleich von Überschussstrom aus Windenergie
- C: Entladung im Zeitintervalle niedriger PV-Einspeisung (5-10Uhr & 16-20Uhr)
- C: Im jahreszeitlichen Verlauf Verschiebung des Entladezeitfensters äquivalent zur Verschiebung des Einspeiseprofiles der Photovoltaik

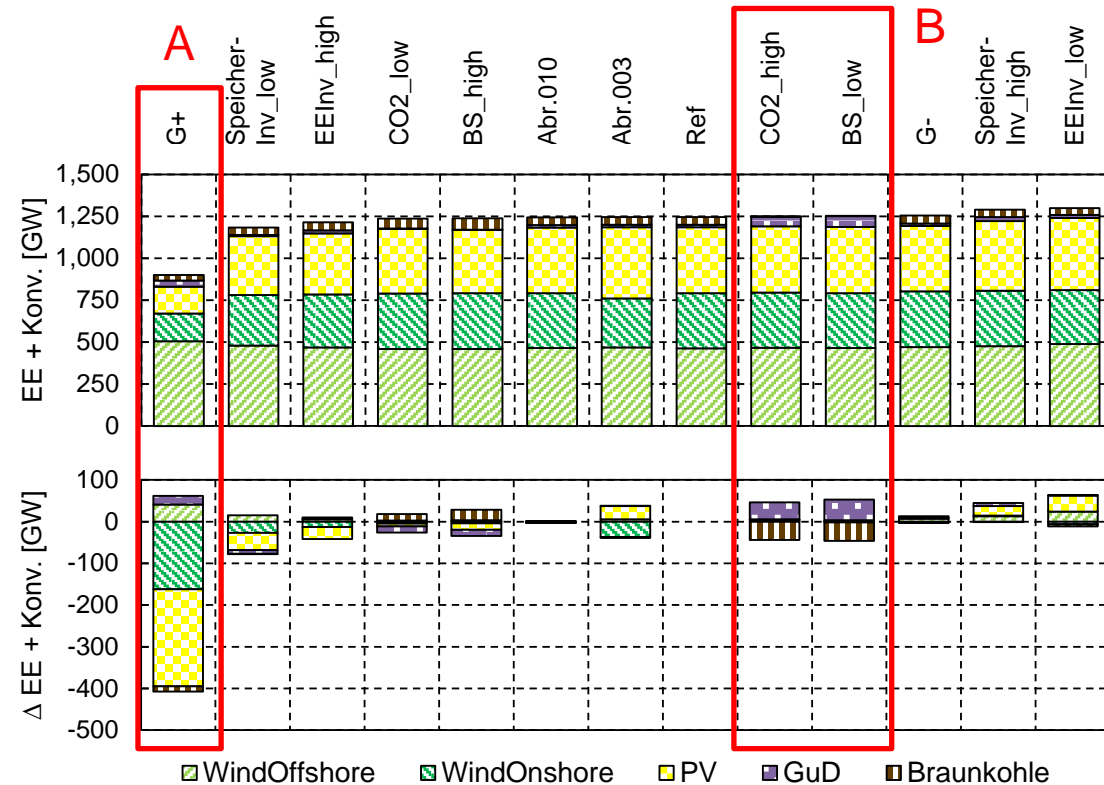
### Li-Ionen



# Sensitivitäten

## Einfluss auf den Zubau der EE-Kapazitäten in Europa

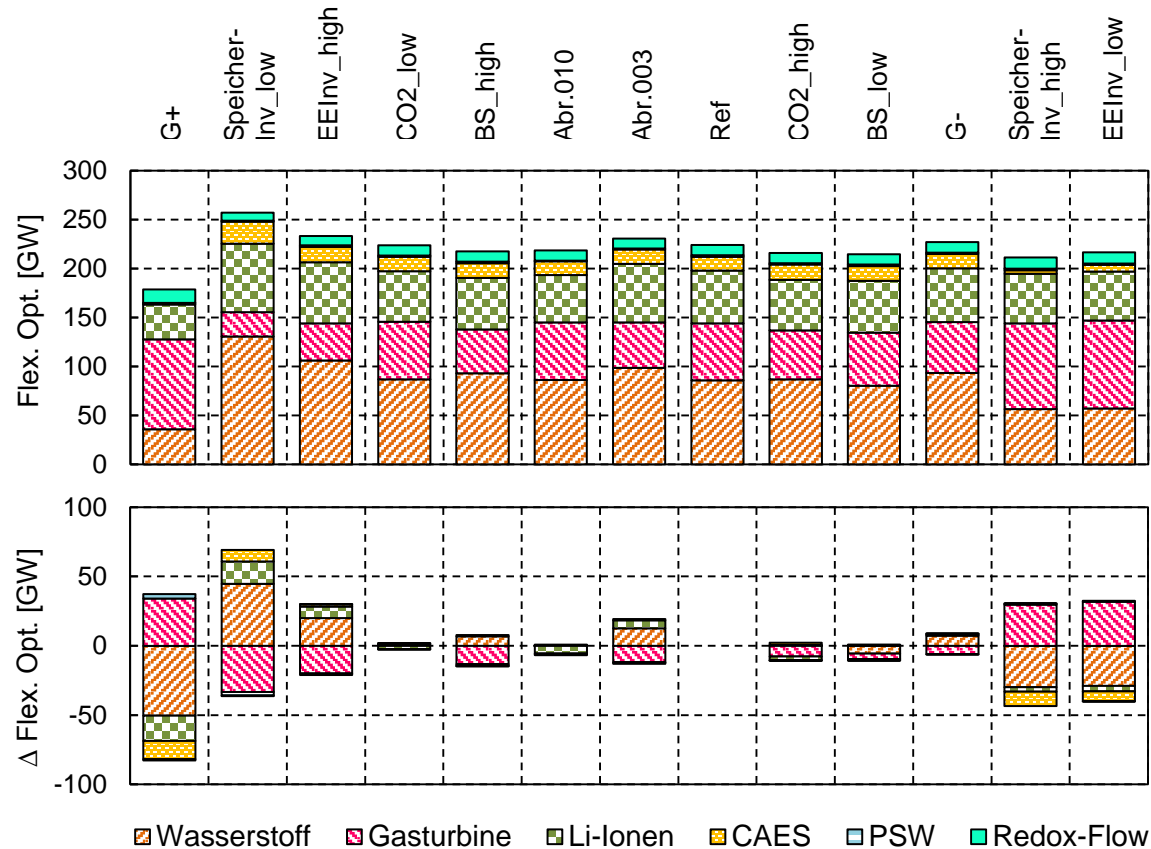
- A: Reduzierung der Leistung um 350 GW
- A: Substitution von Wind Onshore (-160 GW) & PV (-230 GW) durch Wind Offshore (+40 GW) & GuD-Anlagen (+20 GW)
- B: Variationen der Brennstoff- & Zertifikatspreispfade (CO2\_high, BS\_low) führt zu Substitution der Braunkohle durch GuD-Kraftwerke
- Restliche Szenarien relativ stabil



Szenario		Variation	Ausprägung
I	SpeicherInv_low	Verringerte Inv.-Kosten (Konv., Speicher)	-50%
II	SpeicherInv_high	Erhöhte Inv.-Kosten (Konv., Speicher)	+50%
III	EEInv_low	Verringerte Inv.-Kosten	-50%
IV	EEInv_high	Erhöhte Inv.-Kosten	+50%
V	G+	Optimiertes AC/DC-Netz, Startnetz: TYNDP	-

# Sensitivitäten

## Einfluss auf den Zubau der EEs & Speicher in Europa





# Konklusion & Ausblick

- Innerhalb der untersuchten Szenarien existieren stark sensitive Annahmen hinsichtlich der Speicherleistung und –Kapazität
  - EU: 87 – 233GW, 12 – 54TWh
  - DE: 13 – 39GW, 1 – 7TWh
- Die anteilmäßige Zusammensetzung des Speicherzubaues summiert über das Betrachtungsgebiet jedoch in allen Untersuchungsfällen ähnlich
- Integration von EE Speicher kann zu großen Teilen durch Netzausbau substituiert werden
- Annahmen zu Preispfaden und Abregelungen auf europäischer Ebene weniger Einfluss
- Bei knotenscharfer Betrachtung jedoch erkennbare Unterschiede insbesondere in der Struktur des Flexibilitätsportfolios zeigt
- Notwendige/mögliche weitere Sensitivitäten:
  - Räumliche und zeitliche Auflösung
  - Lastzeitreihen
  - Weitere Flexibilitätsoptionen ggf. Kopplung zum Wärmemarkt und Transportsektor
  - Modellierungsansatz für konventionelle Kraftwerke (MILP vs. LP)
  - Kostengebundene oder knotenspezifische Abregelungslimits
  - Modellmethodik: myopischen oder Ausbaupfad optimierende Ansätze



# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Dipl. Wi.-Ing. Felix Cebulla

[felix.cebulla@dlr.de](mailto:felix.cebulla@dlr.de)

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Institut für Technische Thermodynamik

Systemanalyse und Technik Bewertung

A large, curved image of the Earth from space, showing the blue atmosphere, white clouds, and green landmasses of Europe and Africa.

Wissen für Morgen